

УДК 53.06

В.В. Архипов, И.А. Кудусова, А.Ж. Кыстаубаева

*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Казахстан  
(E-mail: midav\_73@mail.ru)*

### **Возможности практико-ориентированного подхода к организации семинаров по специальной теории относительности**

Представленная работа посвящена вопросам практической ориентации семинаров по теме «Специальная теория относительности». Современные тенденции ориентации высшего образования на практические нужды, с которыми будут иметь дело будущие специалисты — выпускники высших учебных заведений, диктуют новые требования к организации учебного процесса. Удовлетворение этих требований встречает серьезные затруднения, когда речь начинает идти о сильно абстрагированных дисциплинах университетского курса теоретической физики. В частности, дисциплина «Электродинамика», изучение которой неотделимо от изучения специальной теории относительности, является ярким примером такой ситуации. Тем не менее на основе огромного имеющегося учебного материала по этой дисциплине можно сделать подборку задач и заданий, которые будут направлены на формирование практико-ориентированного мышления у студентов. Все практико-значимые задачи мы условно делим на три типа: парадоксальные, или фантастические, задачи по физике элементарных частиц высоких энергий и задачи, определяющие свойства электромагнитного поля и излучения. Таким образом, в процессе преподавания устанавливаются межпредметные связи (с радиофизикой, ядерной физикой, астрофизикой и космологией) и вырабатывается понимание студентами практической значимости изучаемого материала.

*Ключевые слова:* практико-ориентированный подход, методика обучения, специальная теория относительности, эффект близнецов, тахионы.

В современных условиях особенно актуально организовывать процесс обучения так, чтобы его образовательный результат проявлялся в развитии собственной внутренней мотивации обучения, мышления, воображения, творческих способностей, устойчивого познавательного интереса учащихся, в формировании системы жизненно важных, практически востребованных знаний и умений, что позволяет учащимся адаптироваться к жизни и относиться к ней активно и творчески [1].

Для прочного усвоения знаний по тому или иному предмету требуется сформировать позитивное отношение, интерес учащихся к изучаемому материалу. Интересный, знакомый и лично-значимый материал обычно воспринимается ими как менее трудный. Поэтому перед преподавателем стоит задача организовать учебный процесс так, чтобы он стал познавательным и творческим, в котором учебная деятельность студентов становится успешной, а знания — востребованными. Один из возможных вариантов решения этой задачи заключается в разработке практико-ориентированного подхода к обучению учащихся.

Актуальность разработки практико-ориентированного обучения заключается в том, что данный подход позволяет значительно повысить эффективность обучения. Этому способствует система отбора содержания учебного материала, помогающая студентам самостоятельно оценивать значимость и практическую востребованность приобретаемых знаний и умений [2].

Практико-ориентированные задачи по специальной теории относительности условно можно разделить на три типа: парадоксальные, или фантастические задачи, задачи из области физики элемен-

тарных частиц высоких энергий и задачи на выявление специфических релятивистских свойств электромагнитного поля и излучения.

Первые из них — это обычно задачи на относительность одновременности, скорость течения времени и релятивистский закон сложения скоростей. Для наглядности в формулировках задач часто используются ракеты и «космические поезда», двигающиеся с околосветовой скоростью [3]. Понятно, что с практикой эти задачи имеют весьма условную связь. В настоящее время у человечества не имеется хоть сколько-нибудь обнадеживающих идей относительно достижения таких скоростей макрообъектами. Тем не менее задачи такого рода нельзя отнести к совершенно абстрактным, ввиду конкретности их формулировок и непосредственных привязок к техническим проблемам, пусть и весьма отдаленного будущего. Назначение этих задач, кроме закрепления теоретического материала, заключается еще и в пробуждении интереса к изучаемому предмету. Однако к получаемым выводам зачастую возникает недоверие ввиду их парадоксальности. Интересно, что несмотря на обилие задач, иллюстрирующих разную скорость течения времени в различных инерциальных системах отсчета, почти нигде не приводятся объяснений, связанных с этим парадоксом (например, парадокса близнецов). Отчасти это можно объяснить математической сложностью соответствующих расчетов. С другой стороны, качественное объяснение явления представляется нам в данном случае как гораздо более уместное и ценное. К тому же оно позволит сделать важную отсылку к общей теории относительности. Этот момент мы хотим обсудить особенно, как пример иллюстрирования такого рода задач.

Парадокс близнецов обычно формулируется следующим образом. Есть два брата-близнеца, т.е. они имеют одинаковую дату рождения. Далее следует фантастический сюжет. Один из них остается на Земле, а другой садится в ракету, имеющую возможность разогнаться до околосветовых скоростей. После путешествия среди звезд, занявшего, скажем, лет 10 по часам в ракете, он возвращается на Землю, где встречает своего сильно постаревшего брата, для которого по земным часам прошло гораздо больше времени, например 50 лет (рис. 1, 2).

Кажущийся парадокс заключается в том, что согласно релятивистскому эффекту замедления времени в движущихся инерциальных системах отсчета и землянин и космонавт должны отмечать одинаковое отставание часов друг друга от своих собственных. Тем не менее на момент встречи более постаревшим оказывается именно тот брат, который оставался на Земле.

Ключевым моментом в объяснении парадокса является необходимость ускоренной фазы движения космонавта для его возвращения на Землю [4]. Другими словами, система отсчета, связанная с ракетой, не может быть инерциальной всегда. Именно в течение этой фазы неинерционности и происходит «временной обгон» космонавтом земного наблюдателя.

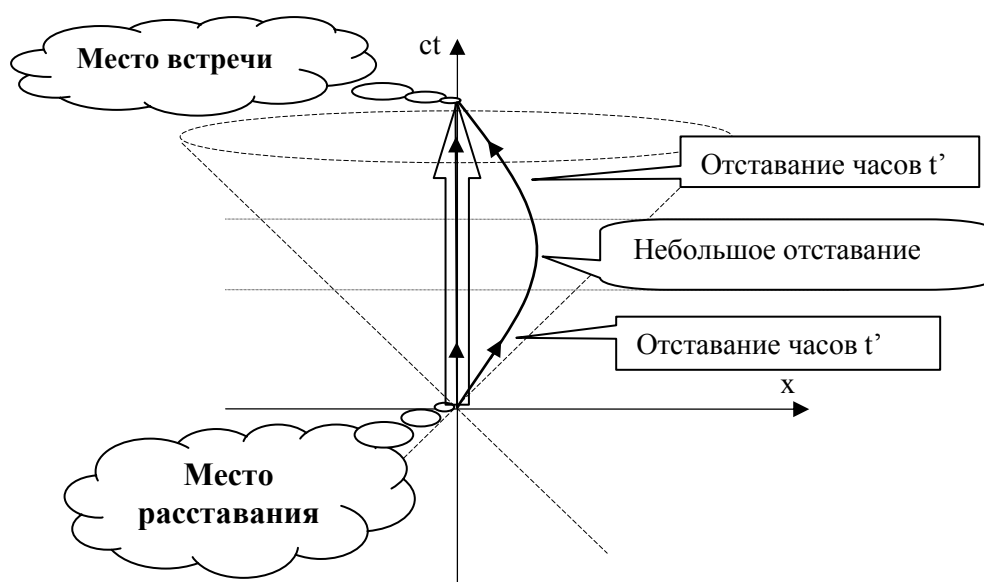


Рисунок 1. Ситуация относительно наблюдателя на Земле. Его мировая линия выделена большой прозрачной стрелкой, мировая линия космонавта — справа. На начальном и конечном этапах часы космонавта отстают значительно из-за его высокой скорости движения. В середине он меняет направление движения и средняя скорость невелика, что обуславливает только небольшое отставание его часов от часов на Земле

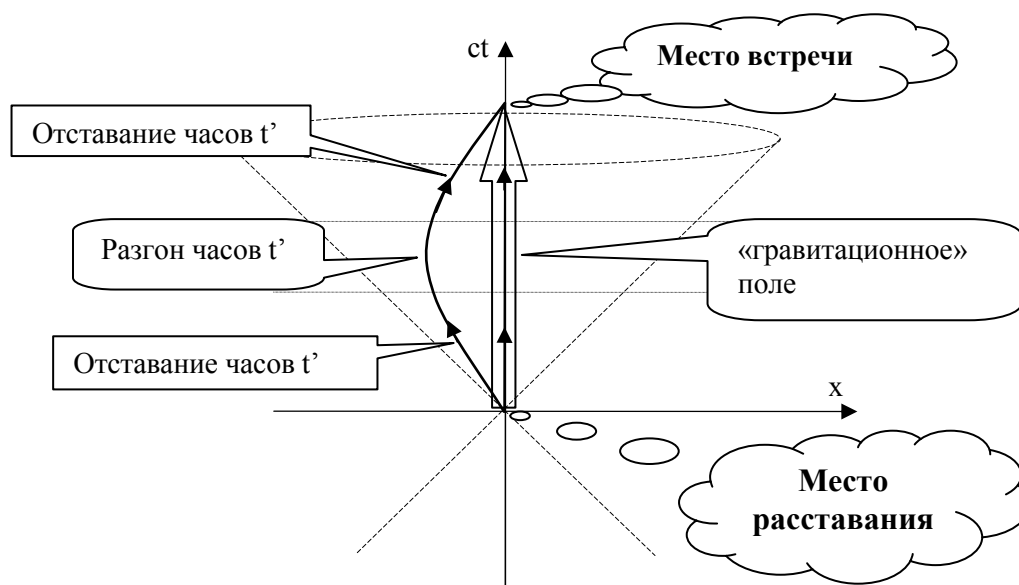


Рисунок 2. Ситуация относительно космонавта. Вертикальная линия — траектория в пространстве-времени покоящегося относительно космического корабля космонавта. Изогнутая мировая линия слева соответствует удаляющейся и приближающейся Земле. В период торможения космонавт оказывается под действием сил инерции, эквивалентных гравитационным, согласно идеям общей теории относительности [4]. «Гравитация» замедляет часы космонавта

Следующий тип практико-ориентированных задач связан с ускорителями элементарных частиц, которые являются единственной возможностью получить релятивистские скорости. Задачи этого типа позволяют закрепить теоретические знания на такие следствия специальной теории относительности (СТО), как замедление времени (увеличение среднего времени жизни нестабильных частиц), возрастание массы (изменение периода обращения частиц в синхрофазотроне), эквивалентность массы и энергии (рождение и аннигиляция элементарных частиц). Оживление этих задач возможно введением в их содержание актуальных данных из современных публикаций по ядерной физике и физике элементарных частиц.

Введение в строй Большого адронного коллайдера выводит эти исследования на новый уровень, как по задействованным энергиям, так и по спектру реализуемых реакций с элементарными частицами. Действительно, упоминаемые в классических задачниках (см., например, [3]) предельные значения энергии имеют порядок 10 ГэВ. Расчетные возможности Большого адронного коллайдера — 7 ТэВ. При таких энергиях открываются возможности для окончательного подтверждения стандартной модели (обнаружение бозона Хиггса), для проверки многообещающих теорий «Новой физики», таких как суперсимметрия, а также проверки различных экзотических теорий, таких как модели с сильной гравитацией на малых масштабах, преонные модели и многие другие [5].

Было бы интересно включение в задачи гипотетических частиц, ответственных за темный сектор Вселенной, — темную материю и темную энергию [6]. Эти частицы (например, такие как аксионы, гравитино и др.) должны характеризоваться отрицательными кинетическими членами, входящими в функцию Лагранжа соответствующей теоретико-полевой модели. Конечно, исследование динамики гипотетических частиц имеет только косвенное отношение к сегодняшней практике. Однако эта работа будет непосредственно связана с современными теоретическими исследованиями в области фундаментальной космологии и астрофизики.

Очень важным моментом является то обстоятельство, что весомость и перспективная значимость теоретических космологических моделей меняется едва ли не ежемесячно. В связи с этим является бессмысленным составление сборников задач или методических руководств на основе неапробированных теорий. Но приобретаемые студентами навыки будут иметь тем больший вес, что они были сформированы на «живом» материале, требующем не просто гибкости и абстрактности мышления, но и определенной смелости в размышлениях.

Таким образом, этот путь следует рассматривать как совершенно адекватный задаче подготовки современных специалистов.

Несмотря на колоссальное ускорение современной науки среди гипотетических элементарных частиц есть такие, чья история длится уже более века, и в настоящее время отсутствуют какие-либо перспективы осуществления эксперимента с целью изменения их статуса. Например, тахионы — гипотетические частицы, движущиеся со скоростями, большими скорости света [7]. Их существование формально разрешено специальной теорией относительности [8], но возможные следствия их реального наличия в нашем мире связаны с рядом противоречий, таких как нарушение причинно-следственных связей, закона сохранения энергии и прочими. Другими словами, при отсутствии ограничений на взаимодействия тахионов с обычной материей становится возможным построить машину времени и вечный двигатель первого рода. Несомненно, что эти обстоятельства можно использовать не только для поддержания интереса к релятивистской физике, но и для побуждения к самостоятельным научным поискам.

Основываясь на анализе динамики тахионов, представленном в научных публикациях (например, см. [7]), можно сформулировать следующие задачи.

1. Показать, что скорость тахиона при потере энергии (например, в результате столкновений) должна возрастать.

Действительно, исходя из представления о тахионе как частице с мнимой массой и формуле для энергии релятивистской частицы

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}, \quad (1)$$

нетрудно видеть, что уменьшение энергии возможно только при возрастании скорости  $v > c$ .

2. Показать, что позитрон с нулевой энергией и бесконечной скоростью может обладать ненулевым импульсом.

Этот результат подтверждается рассмотрением предела  $v \rightarrow \infty$  в формуле для релятивистского импульса

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}. \quad (2)$$

3. Показать, что энергия тахиона может стать отрицательной при переходе к другой инерциальной системе отсчета.

Задача решается использованием обычных преобразований Лоренца для 4-импульса частицы. Действительно, из

$$E' = \frac{E - p_x V}{\sqrt{1 - (V^2/c^2)}}$$

следует, что энергия тахиона  $E'$  в движущейся со скоростью  $V$  системе отсчета будет отрицательной, если  $E < p_x V$ . С учетом (1) и (2) получаем условие на скорость этой системы отсчета в виде  $vV > c^2$ .

Возможность существования частиц с отрицательной энергией дала бы принципиальную возможность получения энергии излучением тахионов. Эта гипотетическая ситуация может послужить прекрасной возможностью для студенческого проекта, способного в полной мере раскрыть их знания, проявить навыки в математических выкладках и способности к абстрактным рассуждениям.

4. Показать, что последовательность событий с участием тахионов (излучения и поглощения) может меняться во времени. Найти условие, при котором это возможно.

Изменение знака энергии и последовательность событий можно проанализировать с помощью «принципа реинтерпретации» [тахионы], который позволяет толковать эти процессы как обычные, но с участием античастиц. Вообще говоря, такой анализ подразумевает использование логики квантовой теории поля, что можно рассматривать как подготовку к восприятию современных теоретико-полевых подходов.

Третий тип практико-ориентированных задач по специальной теории относительности лежит непосредственно на стыке с электродинамикой, как теорией электромагнитного поля. В любом сборнике имеется достаточное количество задач на преобразования Лоренца как для потенциалов поля, так и для напряженностей.

$$E_x = E'_x, E_y = \frac{E'_y + (V/c)H'_z}{\sqrt{1-(V/c)^2}}, E_z = \frac{E'_z - (V/c)H'_y}{\sqrt{1-(V/c)^2}},$$

$$H_x = H'_x, H_y = \frac{H'_y - (V/c)E'_z}{\sqrt{1-(V/c)^2}}, H_z = \frac{H'_z + (V/c)E'_y}{\sqrt{1-(V/c)^2}}.$$

В целом их практическая значимость заключается в демонстрации единства электрической и магнитной компонент электромагнитного поля и независимости энергии излучения от выбора системы отсчета.

К этому же типу можно отнести задание вывести формулу для релятивистского красного смещения. Особую актуальность этому заданию придают последние открытия в современной космологии, такое, например, как открытие ускоренного расширения Вселенной по наблюдениям далеких сверхновых звезд.

Таким образом, содержание темы «Релятивистская физика», хотя и в ограниченном масштабе, но допускает практико-ориентированную организацию семинаров и самостоятельной работы учащихся. Причем, как показывают приведенные примеры, этот уклон возможен именно для самых интересных и перспективных в научном плане моментов специальной теории относительности.

### Список литературы

- 1 Калугина И.Ю. Образовательные возможности практико-ориентированного обучения учащихся: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01 / И.Ю. Калугина. — Екатеринбург, 2000 — 215 с. РГБ ОД, 61:00-13/1470-5.
- 2 Архипов В.В. Практико-ориентированная организация семинаров по теоретической физике / В.В. Архипов, А.С. Кудусов, П.А. Кисабекова, А. Хасенова // Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент: Материалы 9-й междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию юбилею акад. Е.А.Букетова (18–19 июня). — Караганда: Изд-во КарГУ, 2015. — С. 438–441.
- 3 Батыгин В.В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. — М.: Лань, 2010. — 504 с.
- 4 Ландау Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие. В 10 т. Т. II. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М.: Наука, 1988. — 512 с.
- 5 Рубаков В.А. Космология и Большой адронный коллайдер / В.А. Рубаков // Успехи физических наук. — Т. 181. — 2011. — № 6. — С. 655–664.
- 6 Рябов В.А. Поиски частиц темной материи / В.А. Рябов, В.А. Царев, А.М. Цховребов // Успехи физических наук. — 2008. — Т. 178. — № 11. — С. 1129–1164.
- 7 Барашенков В.С. Тахионы. Частицы, движущиеся со скоростями больше скорости света / В.С. Барашенков // Успехи физических наук. — 1974. — Т. 114. — № 1. — С. 133–149.
- 8 Архипов В.В. Геодезические в двумерной модели замкнутого пространства-времени / В.В. Архипов // Известия высших учебных заведений. Сер. Физика. — 2014. — № 8 (57). — С. 22–26.

В.В. Архипов, И.А. Кудусова, А.Ж. Кыстаубаева

### Арнайы салыстырмалы теориясы бойынша семинарларды ұйымдастыруда тәжірибелік бағытталған тәсілдің мүмкіндіктері

Мақала «Арнайы салыстырмалылық теориясы» тақырыбындағы семинарлардың тәжірибелік бағдары мәселелеріне арналған. Жоғары білімнің тәжірибелік қажеттіліктерінің заманауи үрдістері оқу ісін ұйымдастыруда болашақ мамандарға, яғни жоо-ның түлектеріне, жаңа талаптар қояды. Университет курсында оқытылатын теориялық физиканың қатты абстракцияланған пәндері туралы айтылғанда осы талаптарды орындауда үлкен қиындықтар туындайды. Атап айтқанда, «Арнайы салыстырмалылық теориясымен» бірге оқытылатын «Электродинамика» пәні осындай жағдайдың жарқын үлгісі болады. Алайда осы пәннің қолда бар көп оқу материалдардың негізінде студенттерде тәжірибеге бағытталған ойлауды қалыптастыруға арналған есептер мен тапсырмалардың топтамасын жасауға болады. Авторлар барлық тәжірибелік маңызы бар есептерді шартты түрде үш топқа бөліп берген: парадоксалды, немесе фантастикалық, жоғары энергиясы бар элементар бөлшектердің физикасының есептері және электромагниттік өріс пен сәулелердің қасиеттерін анықтайтын есептер. Сонымен, оқыту барысында пәнаралық байланыстар орнатылады (радиофизикамен, ядролық физикамен, астрофизикамен және космологиямен) және студенттер оқытылып жатқан материалдың тәжірибелік маңызын жете түсінеді.

*Кілт сөздер:* практикалық бағытталған тәсіл, оқыту әдістемесі, арнаулы салыстырмалылық теориясы, егіздер құбылысы, тахиондар.

V.V. Arkhipov, I.A. Kudusova, A.Zh. Kystaubaeva

## Possibilities of the practice-oriented approach to the organization of seminars on the Special theory of relativity

The presented work is devoted to practical orientation of seminars on the topic «Special theory of relativity». Modern trends in the orientation of higher education for practical needs, with which future specialists — graduates of higher education institutions will deal — dictate new requirements for the organization of the educational process. Satisfaction of these requirements encounters serious difficulties when it comes to the highly abstracted disciplines of the university course in theoretical physics. In particular, the discipline «Electrodynamics», the study of which is inseparable from the study of the Special Theory of Relativity, is a vivid example of such a situation. Nevertheless, on the basis of the huge existing educational material on this discipline, it is possible to make a selection of tasks and tasks that will be directed towards the formation of practice-oriented thinking among students. All practical-meaningful tasks we conditionally divide into three types: paradoxical or fantastic, problems on the physics of elementary particles of high energies and problems that determine the properties of the electromagnetic field and radiation. Thus, in the process of teaching, interdisciplinary connections are established (with radiophysics, nuclear physics, astrophysics and cosmology), and students understand the practical importance of the material being studied.

*Keywords:* Practical-oriented approach, teaching methods, Special theory of relativity, twins effect, tachyons.

### References

- 1 Kalugina, I.Yu. (2000). Obrazovatelnye vozmozhnosti praktiko-orientirovannogo obucheniia uchashikhsia [Educational opportunities of practice-oriented student's learning]. *Candidate's thesis*. Ekaterinburg. RGB OD, 61:00-13/1470-5 [in Russian].
- 2 Arkhipov, V.V., Kudusov, A.S., Kisabekova, P.A., & Hasenova, A. (2015). Praktiko-orientirovannaia orhanizatsiia seminarov po teoreticheskoi fizike [Practical-oriented organization of seminars on theoretical physics]. Proceedings from Chaos and structures in nonlinear systems. Theory and Experiment: 9 mezhdunarodnaia konferentsiia, posviashchennaia 90-letnemu yubileiu akademika Ye.A. Buketova (18–19 iyunia) — 9th International Scientific Conference on the 90th Anniversary of Academician Ye.A. Buketov. Karaganda (pp. 438–441) [in Russian].
- 3 Batygin, V.V., & Toptygin, I.N. (2010). *Sbornik zadach po elektrodinamike i spetsialnoi teorii otositelnosti* [A collection of problems on electrodynamics and the special theory of relativity]. Moscow: Lan [in Russian].
- 4 Landau, L.D., & Lifshits, E.M. (1988). *Teoreticheskaiia fizika* [Theoretical physics]. Moscow: Nauka [in Russian].
- 5 Rubakov, V.A. (2011). Kosmologhiia i Bolshoi adronnyi kollaidier [Cosmology and the Large Hadron Collider]. *Uspekhi fizicheskikh nauk — Successes of physical sciences, Vol. 181, 6*, 655–664 [in Russian].
- 6 Ryabov, V.A., Tsarev, V.A., & Tsobrebov, A.M. (2008). Poiski chastits temnoi materii [The search for particles of dark matter]. *Uspekhi fizicheskikh nauk — Successes of physical sciences, Vol. 178, 11*, 1129–1164 [in Russian].
- 7 Barashenkov, V.S. (1974). Takhiony. Chastitsy, dvizhushiesia so skorostiami bolshe skorosti sveta [Tachyons. Particles moving at velocities greater than the speed of light]. *Uspekhi fizicheskikh nauk — Successes of physical sciences, Vol. 114, 1*, 133–149 [in Russian].
- 8 Arkhipov, V.V. (2014). Heodezicheskie v dvumernoi modeli zamknutoho prostranstva-vremeni [Geodesics in the two-dimensional model of closed space-time]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii — Proceedings of higher educational institutions, 8 (57)*, 22–26 [in Russian].